

Kreisströme in Zwölfpulsstromrichtern

I, Schwarz, Berlin

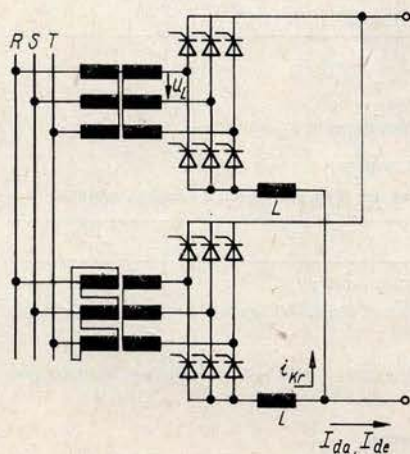
Verwendete Formelzeichen

a_v, b_v, c_v	Fourierkoeffizienten
i	Stromaugenblickswert
I_a	Gleichrichtwert des Kreisstroms
I_{da}	arithmetischer Mittelwert des Gleichstroms
I_{de}	Effektivwert des Gleichstroms
I_e	Effektivwert des Kreisstroms
I	Effektivwert des Drosselstroms
I_0	Integrationskonstante
\hat{U}_v	Amplitude der v -ten Oberwelle des
L	Induktivität [Stroms]
t	Zeit
u	Augenblickswert der Spannung
U_l	Leiter-Leiter-Spannung
\hat{U}_l	Amplitude von U_l
\hat{U}_v	Amplitude der v -ten Oberwelle der Kreisspannung
φ_v	Phasenlage der v -ten Oberwelle
ϑ	bezogene Zeit
ω	Netzkreisfrequenz

Mit einem * gekennzeichnete Größen sind bezogen.

$$i^*(\vartheta) - I_0^* = \begin{cases} -\cos\left(\vartheta + \frac{\pi}{3} + \alpha\right) + \cos\left(\vartheta + \frac{\pi}{2} + \alpha\right) + \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) - \cos\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right) \\ \text{für } 0 \leq \vartheta \leq \frac{\pi}{6} \cos\left(\frac{2\pi}{3} + \alpha\right) - \cos\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right) - \cos\left(\vartheta + \frac{\pi}{3} + \alpha\right) + \cos\left(\vartheta + \frac{\pi}{6} + \alpha\right) \\ \text{für } \frac{\pi}{6} \leq \vartheta \leq \frac{\pi}{3} \end{cases} \quad (5)$$

Thyristorstromrichter mit sehr großen Leistungen werden oft durch Parallelschaltung zweier mit um $\frac{\pi}{6}$ versetzter



Spannung betriebenen Drehstrombrücken realisiert [1].

Im folgenden sollen die dabei auftretenden Kreisströme berechnet werden, da sie die Bauelemente zusätzlich belasten. Mit Hilfe der angegebenen Diagramme kann die zusätzliche

Bild 1
Prinzipschaltbild

Belastung der Bauelemente, speziell der Drosseln, bestimmt werden.

Berechnung des Kreisstroms

Bild 1 zeigt das Prinzipschaltbild mit den Strömen und Spannungen. Die Berechnung erfolgt unter folgenden Voraussetzungen:

- sämtliche drehstromseitigen Reaktanzen und Resistanzen werden vernachlässigt
- der durch beide Brücken fließende Gleichstrom sei größer als die Amplitude des Kreisstroms, so daß der Kreisstrom durch die Richtwirkung der Ventile nicht behindert wird
- der Kreisstrom wird nur durch die Induktivitäten im Gleichstromkreis begrenzt.

Effektivwert, Mittelwert und Spitzenwert des Kreisstroms

Beide Brücken geben zwei um $\pi/6$ ($\triangleq 30^\circ$) versetzte Spannungen ab:

$$u_1(\vartheta) = \hat{U}_1 \sin\left(\vartheta + \frac{\pi}{3} + \alpha\right) f \quad 0 \leq \vartheta \leq \frac{\pi}{3} \quad (1)$$

$$u_2(\vartheta) = \begin{cases} \hat{U}_1 \sin\left(\vartheta + \frac{\pi}{2} + \alpha\right) f & 0 \leq \vartheta \leq \frac{\pi}{6} \\ \hat{U}_1 \sin\left(\vartheta + \frac{\pi}{6} + \alpha\right) f & \frac{\pi}{6} \leq \vartheta \leq \frac{\pi}{3} \end{cases} \quad (2)$$

Die Differenz beider Spannungen ist die treibende Spannung für den Kreisstrom:

$$u(\vartheta) = \begin{cases} \hat{U}_1 \left[\sin\left(\vartheta + \frac{\pi}{3} + \alpha\right) - \sin\left(\vartheta + \frac{\pi}{2} + \alpha\right) \right] f & 0 \leq \vartheta \leq \frac{\pi}{6} \\ \hat{U}_1 \left[\sin\left(\vartheta + \frac{\pi}{3} + \alpha\right) - \sin\left(\vartheta + \frac{\pi}{6} + \alpha\right) \right] f & \frac{\pi}{6} \leq \vartheta \leq \frac{\pi}{3} \end{cases} \quad (3)$$

Allgemein ergibt sich der Strom durch die Induktivität zu:

$$i(\vartheta) = \frac{1}{L} \int_0^{\vartheta} u(\vartheta) d\vartheta + I_0 \quad (4)$$

Unter bezug des Stroms auf $\hat{U}_1/\omega L$ ergibt sich durch die Integration:

Durch numerische Integration mit den Gleichungen

$$I_0^* = -\frac{3}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{3}} [i^*(\vartheta) - I_0^*] d\vartheta \quad (6)$$

$$I_a^* = \frac{3}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{6}} |i^*(\vartheta)| d\vartheta \quad (7)$$

$$I_a^* = \sqrt{\frac{3}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{3}} i^{*2}(\vartheta) d\vartheta} \quad (8)$$

ergeben sich die im Bild 2 gezeigten Diagramme.

Harmonische Analyse

Mit dem Ansatz

$$u(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{v=6,12,18,\dots} a_v \cos v\omega t + \sum_{v=6,12,18,\dots} b_v \sin v\omega t \quad (9)$$

Dipl.-Ing. Jürgen Schwarz ist Mitarbeiter im VEB Kombinat Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin.

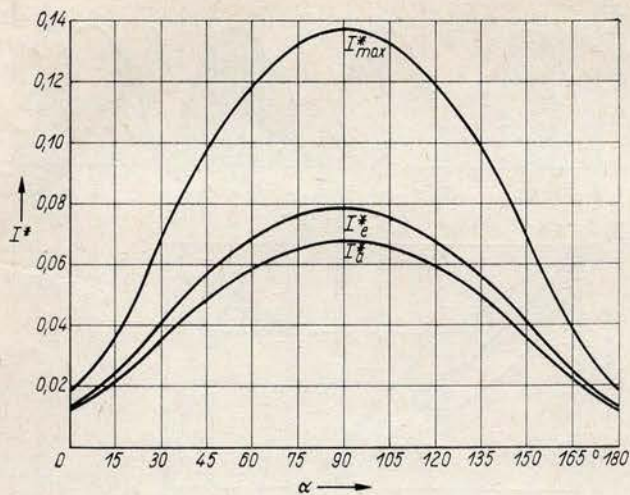


Bild 2. Kreisstrom von Zwölfpulsstromrichtern

für Gl. (3) und der Normierung $a_v^* = \frac{a_v}{\hat{U}_1}$ ergibt sich für die Koeffizienten

$$a_v^* = \frac{3}{(1-v)\pi} \left\{ -\cos \left[\alpha + (2-v) \frac{\pi}{3} \right] + \cos \left(\alpha + \frac{\pi}{3} \right) + \cos \left[\alpha + (4-v) \frac{\pi}{6} \right] - \cos \left(\alpha + \frac{\pi}{2} \right) + \cos \left[\alpha + (1,5-v) \frac{\pi}{3} \right] - \cos \left[\alpha + (2-v) \frac{\pi}{6} \right] \right\} + \frac{3}{(1+v)\pi} \left\{ -\cos \left[\alpha + (2+v) \frac{\pi}{3} \right] + \cos \left(\alpha + \frac{\pi}{3} \right) + \cos \left[\alpha + (4+v) \frac{\pi}{6} \right] - \cos \left(\alpha + \frac{\pi}{2} \right) + \cos \left[\alpha + (1,5+v) \frac{\pi}{3} \right] - \cos \left[\alpha + (2+v) \frac{\pi}{6} \right] \right\} \quad (10)$$

$$b_v^* = \frac{3}{(1-v)\pi} \left\{ \sin \left[\alpha + (2-v) \frac{\pi}{3} \right] - \sin \left(\alpha + \frac{\pi}{3} \right) - \sin \left[\alpha + (4-v) \frac{\pi}{6} \right] + \sin \left(\alpha + \frac{\pi}{2} \right) - \sin \left[\alpha + (1,5-v) \frac{\pi}{3} \right] + \sin \left[\alpha + (2-v) \frac{\pi}{6} \right] \right\} - \frac{3}{(1+v)\pi} \left\{ -\sin \left[\alpha + (2+v) \frac{\pi}{3} \right] + \sin \left(\alpha + \frac{\pi}{3} \right) + \sin \left[\alpha + (4+v) \frac{\pi}{6} \right] - \sin \left(\alpha + \frac{\pi}{2} \right) + \sin \left[\alpha + (1,5+v) \frac{\pi}{3} \right] - \sin \left[\alpha + (2+v) \frac{\pi}{6} \right] \right\} \quad (11)$$

Mit $a_0 = 0$ wird dann

$$u(t) = \sum_{v=6,12,18,\dots}^{\infty} c_v \sin(v\omega t + \varphi_v) \quad (12)$$

$$c_v = \sqrt{a_v^2 + b_v^2} \quad (13)$$

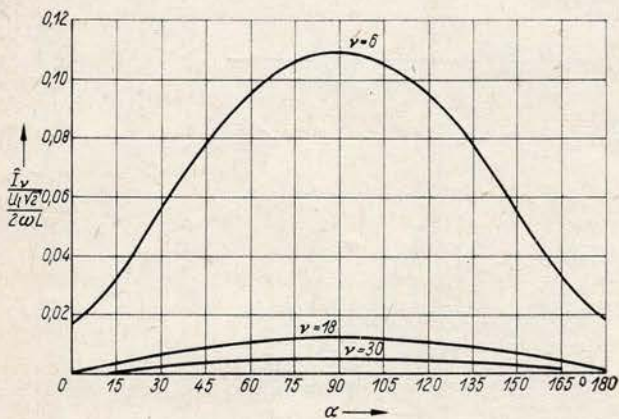


Bild 4. Harmonische Analyse des Kreisstroms

$$I = \frac{U_1 \sqrt{2}}{2 \omega L} I^*$$

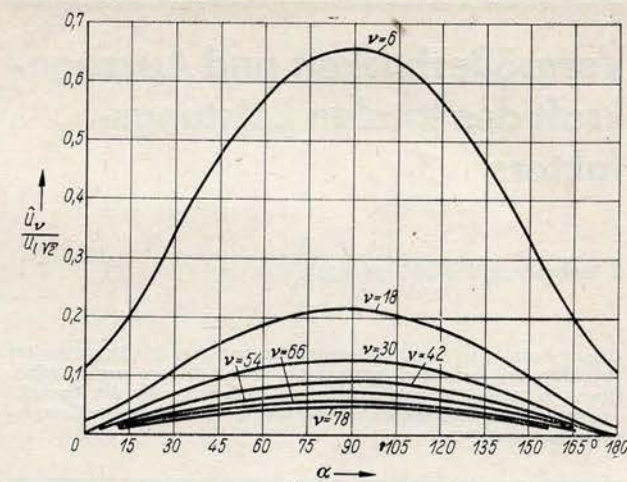


Bild 3. Harmonische Analyse der Kreisspannung

und

$$\varphi_v = \arctan \frac{a_v}{b_v} \quad (14)$$

Der Strom wird durch Anwendung von Gl. (4)

$$i(t) = -\frac{1}{L} \sum_{v=6,12,18,\dots}^{\infty} \frac{c_v}{v} \cos(v\omega t + \varphi_v) \quad (15)$$

Alle geradzahigen Vielfache von 6 ergeben sich zu Null. Die Auswertung zeigen die Bilder 3 und 4.

Zusätzliche Belastung durch den Kreisstrom

Die zusätzliche Belastung durch den Kreisstrom kann für die Drosseln mit

$$I = \sqrt{\left(\frac{I_{de}}{2}\right)^2 + I_e^2} \quad (16)$$

berechnet werden.

EA 7177

Literatur

[1] Lappe, R., u.a.: Thyristor-Stromrichter für Antriebsregelungen. Berlin: VEB Verlag Technik 1970.